

ТОРМОЗНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКЕ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ

Ключевые слова: электронно-лучевая наплавка, осцилляция электронного луча, рентгеновское излучение, синхронное детектирование, цельнометаллическая проволока.

Применение проволочного или других присадочных металлов (ленты, прутка и т. д.) позволяет уйти от целого ряда проблем, существующих при наплавке с использованием порошковых систем. Так, известны первые примеры подобных установок, в которых наплавка происходит в вакууме с использованием электронного луча, что является эффективным решением для многих перспективных материалов. В России технологии электронно-лучевой наплавки из проволочных материалов до сих пор не реализованы и являются одним из перспективных направлений исследований [1, 2]. Одними из первых продвигать технологию, использующую сочетание вакуума и проволочных материалов, начали в компании Sciaky (США) [3, 4], специализирующейся на разработке технологий и оборудования для электронно-лучевой сварки. В машине для аддитивного формирования компании Sciaky построение детали производится методом послойной наплавки материала электронным лучом.

Высокая производительность такой технологии (7–18 кг/ч) позволяет выращивать детали, размеры которых исчисляются метрами, что невозможно или чрезмерно дорого обеспечить при использовании других аддитивных технологий. Однако принцип формирования детали обуславливает низкое качество поверхности синтезированной детали. Применение динамического контроля поможет повысить качество поверхности заготовки, получаемой при многослойной электронно-лучевой наплавке проволочным материалом. Наиболее перспективным вторичным сигналом для системы динамического контроля является тормозное рентгеновское излучение. Целью данной работы являлась оценка информативности сигнала тормозного рентгеновского излучения из зоны взаимодействия электронного луча с материалом изделия и присадочной проволокой при электронно-лучевой наплавке.

В ходе исследования была проведена электронно-лучевая наплавка цельнометаллической проволоки на подложку с применением осцилляции электронного луча по кольцевой траектории диаметром 1,6 мм. В процессе наплавки производилась регистрация и запись рентгеновского излучения из технологической зоны. В качестве датчика рентгеновского излучения применялся сцинтилляционный детектор на основе монокристалла активированного йодистого цезия и кремниевый фотоэлектронный умножитель. Экспериментальная часть исследования проводилась на электронно-лучевой сварочной установке с энергетическим агрегатом ЭЛА-6ВЧ. В качестве подложки использовались цилиндрические образцы из стали 12Х18Н10Т с наружным диаметром 160 мм и толщиной стенки 10 мм. Присадочная проволока подавалась параллельно поверхности подложки на высоте 2 мм. Наплавка производилась при разных скоростях подачи присадочной проволоки.

В ходе проведения эксперимента были отобраны три характерных режима наплавки: 1) со скоростью подачи проволоки, обеспечивающей быстрое плавление и струйный перенос металла; 2) со скоростью подачи проволоки, обеспечивающей разогрев проволоки при вхождении проволоки в кольцо осцилляции электронного луча и плавлении при выходе из него на диаметрально противоположной стороне; 3) со скоростью подачи проволоки, обеспечивающей сквозное прохождение проволоки через кольцо осцилляции электронного луча без оплавления. Обработанный сигнал рентгеновского излучения для каждого из описанных режимов приведен на рис. 1.

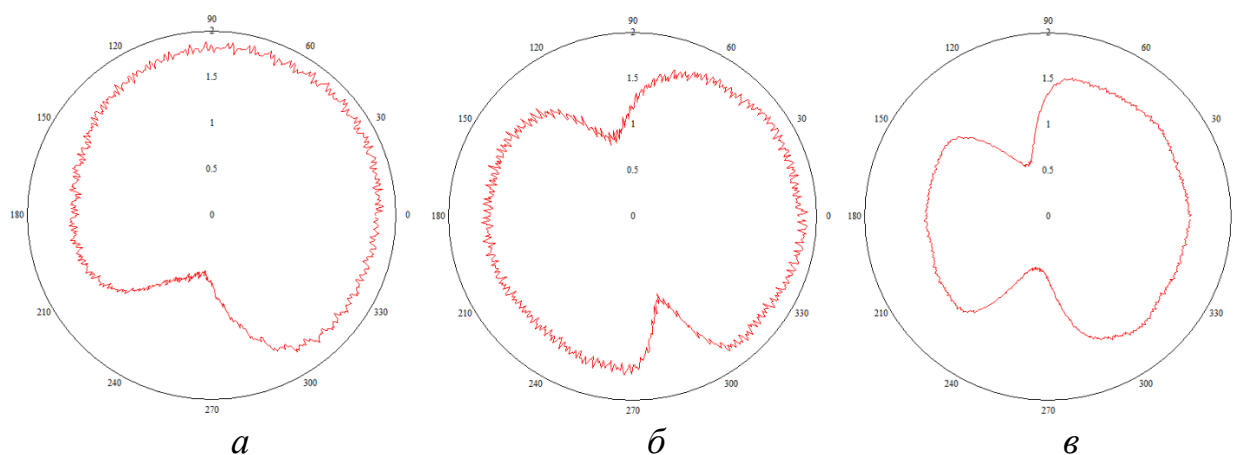


Рис. 1. Сигнал рентгеновского излучения из зоны электронно-лучевой наплавки проволоочного материала при кольцевой осцилляции электронного луча:
а – медленная скорость подачи проволоки; *б* – средняя скорость подачи проволоки; *в* – высокая скорость подачи проволоки

Анализируя результаты математической обработки сигнала рентгеновского излучения, становится очевидно, что он несет информацию: о соотношении скорости подачи проволоки к мощности электронного лу-

ча; о положении присадочной проволоки относительно центра осцилляции; о направлении подачи проволоки; о частоте переноса расплавленного металла; о размере капель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (RFMEFI58317X0022) в рамках проекта БРИКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reisgen U., Olschok S., Longerich S. Laser beam welding in vacuum – A comparison with electron beam welding // Welding and Cutting 9. 2010. 4. Pp. 224–230
2. Punshon C., Smith S. Development of Local Vacuum Technology for the Application of Power Beam Welding to Massive Structures // Сборник докладов международного конгресса 7th Asia Pacific IIW International Congress 2013 (Сингапур, 8–10 июля 2013 г.).
3. Electron beam layer manufacturing: пат. US20160288244 A1 USA: G05B19/4099, B23K15/06, B23K15/00, B23K15/02 Scott Stecker; заявитель и патентообладатель Sciaky inc. № 20160288244; заявл. US 15/180,665; опубл. 06.10.16.
4. Electron beam layer manufacturing using scanning electron monitored closed loop control: пат. US20140061167 A1 USA: B23K9/04 Scott Stecker, Phillip Wollenhaupt; заявитель и патентообладатель Sciaky inc. № 20140061167; заявл. US 14/078,910; опубл. 06.03.14.